

Evaluasi Komparatif Sistem Suplai Air Bersih Tenaga Listrik dengan Tenaga Surya di Daerah Terpencil (Studi Kasus di Desa Mangunan, Kecamatan Dlingo, Kabupaten Bantul)

Eli Kumolosari¹, Ahmad Agus Setiawan², Kutut Suryopratomo³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Fisika FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

¹eli.kumolosari@mail.ugm.ac.id

²a.setiawan@ugm.ac.id

³kutut@ugm.ac.id

Intisari— Sistem suplai air bersih tenaga listrik yang dibangun di Desa Mangunan belum pernah dilakukan evaluasi, sementara sistem ini diharapkan berkelanjutan. Di sisi lain, belum adanya kajian tentang kelebihan dan kekurangan sistem suplai air bersih tenaga listrik maupun surya menyebabkan beberapa kalangan ragu dalam menentukan sistem ketenagaan suplai air bersih bagi suatu kondisi tertentu. Sistem suplai air bersih di Desa Mangunan ditujukan untuk memenuhi kebutuhan air 102 orang. Debit air Goa Jamberomo adalah 87230,7 l/hari. Rata-rata konsumsi dengan data primer adalah 7691,9 l/hari dan perhitungan dengan asumsi minimal 30 liter adalah 4398,7 l/hari. Dari hasil itu dapat disimpulkan air sumber layak diangkat. Sistem ini menggunakan pompa *submersible* Shimizu SP-413 BIT. Titik operasi pompa pada debit 0,9 l/s dan head 40,4 m. Pipa yang digunakan dari sumber ke HU utama adalah HDPE 1,5" PN 16. Jika diumpamakan tenaga sistem tersebut diganti dengan surya, pompa yang sesuai adalah Lorentz PS 1800 C-SJ5-12. Daya yang dibutuhkan pompa untuk memompa air dengan debit 3,8 m³/jam dan head 40 m adalah 800 Wp. Untuk harga air, harga yang diterapkan lebih tinggi dari perhitungan. Dibandingkan dengan sistem suplai air bersih tenaga surya, untuk asumsi biaya pembangunan pinjaman, harga air sistem listrik lebih murah, namun dengan asumsi biaya pembangunan bantuan, harga air sistem listrik lebih mahal. Dari aspek sosial, sistem dibandingkan dengan sistem suplai air bersih tenaga surya di Kecamatan Panggang. Umumnya, masyarakat puas dengan sistem, kecuali air yang berkapur di Dlingo dan kurangnya debit air di Panggang. Kedua sistem memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Penentuan sistem ketenagaan disesuaikan dengan kondisi lokasi serta tujuan pembangunan sistem tersebut.

Kata kunci— sistem suplai air bersih, tenaga listrik, tenaga surya, evaluasi, studi komparatif.

Abstract— Electric water supply system which was built in Desa Mangunan has not been evaluated yet, whereas the system is expected being sustainable. Otherwise, some people still doubt of what kind of energy should be used for a certain condition. Therefore, it is needed to do a comparative study of electric and solar water supply system. Water supply system in Desa Mangunan intended to meet the water need of 102 people. Discharge water of Cave Jamberomo is 87230.7 l/day. Average consumption of all customers is 7691.9 l/day and with the assumption minimum need of water is 30 l/day/person, the calculation result is 4398.7. From these results it can be concluded that the water source proper to be pumped. The system uses Shimizu submersible SP-413 BIT pumps. The pump operating point is at discharge 0.9 l/s and head 40.4 m. From the source to the main tank, system uses HDPE pipe 1.5" PN 16. If we let the water supply system in Desa Mangunan is replaced with solar systems, the suitable submersible pump is Lorentz SJ5 PS-1800 C-12. The power needed to pump water with discharge 3.8 m³/hr and head 40 m is 800 Wp. For the price of water, the applied price is higher than the calculation. Compared to the solar water supply system, assuming the cost of the construction is loan, the cost of electric water supply systems are cheaper, but with the assumption that the cost of development is aid, the price of electric water supply systems are more expensive. On the social aspect, the system compared with solar water supply system in Kecamatan Panggang. Generally, all customers are satisfied with the system, except the water that contains lime in Kecamatan Dlingo and lack of water discharge in Kecamatan Panggang. Both systems have advantages and disadvantages. Determination of system energy is adapted to the site conditions and the purpose of the construction.

Keywords— water supply system, electricity, solar, evaluation, comparative study

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan air tentu saja tidak sama di setiap wilayah, apalagi di Indonesia yang memiliki wilayah dengan kondisi geografis dan kondisi tanah yang berbeda-beda. Beberapa wilayah mengalami kondisi sulit air. Hal tersebut terjadi misalnya di daerah pegunungan di Daerah Istimewa Yogyakarta.

Beberapa instansi maupun perorangan memberikan bantuan untuk mempermudah masyarakat yang mengalami kondisi sulit air tersebut, salah satunya dengan membangun sistem suplai air bersih, baik dengan tenaga listrik, tenaga surya, tenaga hibrid, maupun tenaga diesel. Sistem suplai air bersih tenaga listrik di Dusun Lemahbang, Desa Mangunan, Kecamatan Dlingo dirancang dan dieksekusi pada tahun 2011 pada program KKN-PPM UGM. Program yang bekerjasama dengan Departemen Pekerjaan Umum Satuan Kerja Air D. I.

Yogyakarta ini dirancang serta dieksekusi oleh mahasiswa peserta KKN dan warga masyarakat. Sistem yang dibangun ini dirancang untuk pendistribusian di RT 28.

Setelah dilakukan eksekusi, sistem ini diharapkan dapat berkelanjutan. Untuk mencapai hal tersebut tentu perlu dilakukan evaluasi pada sistem terinstal baik secara teknis, ekonomi, maupun sosial. Untuk evaluasi secara teknis, hal yang dilakukan adalah dengan melakukan analisis terhadap komponen penyusun sistem. Hasil perhitungan pada analisis tersebut selanjutnya dibandingkan dengan keadaan nyata sistem, sehingga dapat diketahui jika ada kekurangan pada sistem.

Pada penelitian dilakukan juga perancangan sistem suplai air bersih tenaga surya pada lokasi yang sama untuk kemudian dilakukan studi komparatif kedua sistem.

Kemudian untuk tinjauan secara ekonomi, data yang dibutuhkan adalah semua biaya terkait pembangunan awal sistem suplai air bersih tersebut serta biaya operasional bulanan sistem. Sedangkan ditinjau dari aspek sosial, yang akan diteliti adalah mengenai penerimaan masyarakat terhadap sistem suplai air bersih tersebut serta harapan dan kepuasan terhadap sistem yang telah ada. Tinjauan sosial tersebut menggunakan metode wawancara (kuesioner).

Selanjutnya untuk studi komparatif, sistem suplai air bersih tenaga listrik ini akan dibandingkan dengan sistem suplai air bersih tenaga surya. Hal ini perlu dilakukan mengingat belum pernah dilakukannya kajian mengenai kelebihan dan kekurangan sistem suplai air bersih tenaga listrik maupun surya yang menyebabkan beberapa orang / kalangan masih ragu dalam menentukan sistem suplai air bersih bertenaga apa yang paling baik dan sesuai dengan kondisi mereka, atau bagi suatu kondisi tertentu.

Studi komparatif ini akan memunculkan kelebihan dan kekurangan masing-masing sistem ditinjau dari aspek teknis, ekonomi dan sosial. Hasil dari studi komparatif ini diharapkan dapat menjadi acuan pertimbangan bagi pembangunan sistem suplai air bersih lain, baik dengan tenaga listrik maupun tenaga surya.

II. STUDI PUSTAKA

A. Sistem Pengangkatan Air Tenaga Listrik Desa Mangunan Kecamatan Dlingo [1]

1) *Tahap Perencanaan:* Pada tahap perencanaan ini, hal-hal yang dilakukan adalah :

- Survei referensi sistem suplai air bersih di Kecamatan Panggang dan Ponjong.
- Survei sumber mata air untuk memastikan sumber yang layak diangkat.
- Studi referensi teori di Lab. Kualitas Air Fakultas Geografi UGM dan Lab. Geologi dan Tata Lingkungan Jurusan Geologi UGM.
- Uji kualitas air secara kimiawi.
- Uji kontinuitas dan kuantitas air sumber dengan metode *pumping test*.
- Penyuluhan pembentukan organisasi air.
- Sosialisasi pengangkatan dan pendistribusian air bersih.

2) *Tahap Eksekusi:* Pada tahap eksekusi ini, hal-hal yang dilakukan adalah

- Pembuatan dudukan HU dan peletakan.
- Pemasangan pipa HDPE.
- Perbaikan bak penenang dengan memperdalam bak penenang yang telah ada.
- Pemasangan pompa *submersible* Shimizu SP-413 BIT.
- Pemasangan instalasi listrik.
- Pembuatan proposal bantuan pipa PVC.

B. Perancangan Sistem Pengangkatan Air Tenaga Surya Kecamatan Tepus [2]

Perancangan sistem ini dilatarbelakangi kondisi masyarakat Kecamatan Tepus yang mengalami sulit air. Dalam sebulan mereka dapat mengeluarkan biaya hingga Rp 200.000,00 hanya untuk air bersih. Bagi warga yang tidak mampu, mereka harus mengambil air dari sumber air Kali Sureng yang berjarak 2,2 km dari pemukiman. Dikarenakan potensi radiasi matahari yang besar di Kecamatan Tepus tersebut, yaitu 5,66 kWh/m²/hari, perancangan ini bertujuan untuk menggantikan sistem pengangkatan air yang telah ada di daerah tersebut, di mana tenaganya menggunakan genset diesel. Pendistribusian air menggunakan jaringan pipa yang telah ada. Perancangan ini menggunakan 2 kali pemompaan dikarenakan *head* yang tinggi. Pemompaan pertama menggunakan pompa *submersible* Lorentz PS 4000 C-SJ5-25.

Berdasarkan kurva karakteristik pompa, pompa *submersible* Lorentz PS 4000 C-SJ5-25 membutuhkan daya input sebesar 2400 Wp dan tegangan sistem lebih dari 230 Vdc agar dapat memompa air setinggi 110 m dengan debit 4 m³/jam. Pemompaan kedua menggunakan pompa *submersible* Lorentz PS 4000 C-SJ3-32. Berdasarkan kurva karakteristik pompa, pompa *submersible* Lorentz PS 4000 C-SJ3-32 membutuhkan daya input sebesar 2800 Wp dan tegangan sistem lebih dari 230 Vdc agar dapat memompa air setinggi 140 m dengan debit 3,25 m³/jam. Dalam perancangan ini, total biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan adalah Rp 543.102.427,00 belum termasuk biaya pekerja, transportasi dan pemasangan.

C. Evaluasi Sistem Pengangkatan Air Tenaga Surya Kecamatan Moyudan, Kabupaten Sleman [3]

Evaluasi dilakukan dengan mengecek kondisi masing-masing komponen penyusun sistem.

- Sistem Kelistrikan:* Sistem ini terdiri dari panel surya, *etrack*, perkabelan (*wiring*), inverter PS1800, inverter PS600, pompa sumur, pompa booster, dan penangkal petir.
- Sistem Sipil:* Sistem ini terdiri dari sumur 1, sumur 2 dan dudukan reservoir.

D. Evaluasi Unjuk Kerja Sistem Pengangkatan Air Tenaga Surya Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunungkidul [4]

Penelitian ini bertujuan mendapatkan kinerja mengenai sistem pengangkatan air di Kecamatan Panggang yang hasilnya digunakan sebagai bahan evaluasi dari unjuk kerja sistem pengangkatan air menggunakan energy matahari dengan studi kasus di sumber air Kaligede, Desa Giriharjo. Hasil evaluasi akan direkomendasikan sebagai bahan kajian untuk memperbaiki sistem yang telah ada jika masih terdapat kekurangan.

Sistem pengangkatan air ini menggunakan pompa *submersible* Lorentz PS 1200 HR-07. *Head* maksimal dari pompa yang sebesar 120 m dapat bekerja maksimal dengan menggunakan daya input sebesar 1200 Wp. Setelah dilakukan pengukuran dan perhitungan, didapatkan nilai efisiensi pada tanggal 20 Maret 2010 sebesar 16,791%, tanggal 29 Maret 2010 sebesar 4,612%, tanggal 31 Maret 2010 sebesar 22,935% dan tanggal 4 April 2010 sebesar 51,798%.

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa debit rata-rata yang dihasilkan belum sesuai dengan nilai yang diinginkan yaitu 7,5 m³/hari. Data spesifikasi Lorentz menjelaskan bahwa pompa dapat bekerja saat daya minimal 350 Watt. Saat pengukuran di lapangan, pompa sudah dapat bekerja pada daya sekitar 270 Watt tetapi air yang dihasilkan mengalir lebih perlahan, sedangkan untuk daya di atas 270 Watt, air mengalir lebih deras. Data tersebut juga menjelaskan bahwa semakin stabil intensitas matahari yang menyinari panel, maka nilai efisiensi dari sistem tersebut semakin besar, sedangkan semakin fluktuatif intensitas matahari menyinari panel, maka energi yang diubah menjadi listrik lebih sedikit dan efisiensi dari sistem akan semakin kecil.

III. DASAR TEORI

A. Penentuan Kebutuhan Air [5]

1) *Perhitungan Peningkatan Jumlah Penduduk*: Untuk menghitung peningkatan jumlah penduduk digunakan persamaan berikut:

$$P = P_o (1 + r)^n \tag{3.1}$$

dengan

P = jumlah penduduk sampai akhir tahun perencanaan (jiwa)

P_o = jumlah penduduk pada awal tahun perencanaan (jiwa)

r = tingkat pertambahan penduduk per tahun (%)

n = umur perencanaan (tahun)

2) *Perhitungan Kebutuhan Air*: Untuk menghitung kebutuhan air digunakan persamaan berikut:

$$Q = P \times q \tag{3.2}$$

$$Q_{md} = Q \times f_{md} \tag{3.3}$$

dengan

Q_{md} = kebutuhan air (l/hari)

q = konsumsi air (l/orang/hari)

P = jumlah orang yang akan dilayani sesuai tahun perencanaan (orang)

f = faktor maksimum (1,05 – 1,15)

$$Q_t = Q_{md} \times 100/80 \tag{3.4}$$

dengan

Q_t = kebutuhan air total dengan faktor kehilangan 20% (1/hari)

B. Unit Distribusi Air Bersih

1) *Pipa Distribusi*

a. Jenis Pipa [5]: Pipa PVC, pipa PE, pipa galvanis (GIP). Pipa HDPE memiliki kekasaran dalam pipa yang halus yaitu sebesar 0,001 mm [6].

b. Jenis Aliran dalam Pipa [7]; Aliran laminar ($Re < 2300$), aliran transisi ($2300 < Re < 4000$) dan aliran turbulen ($Re > 4000$).

Aliran laminar

$$f = \frac{64}{Re} \tag{3.5}$$

Aliran turbulen

$$f = \frac{0,25}{\left(\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2} \tag{3.6}$$

dengan

f = koefisien gesekan aliran turbulen

D = diameter dalam pipa (m)

ϵ = nilai kekasaran absolut dalam pipa

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \tag{3.7}$$

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

3. Analisis Hidrolika dalam Distribusi Air Bersih

a. *Head Loss* [8]

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \text{ (persamaan Darcy)} \tag{3.8}$$

$$h_{LM} = K \frac{V^2}{2g} \tag{3.9}$$

$$h_{LT} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + K \frac{V^2}{2g} \tag{3.10}$$

dengan

h_L = *head loss* mayor

h_{LM} = *head loss* minor

h_{LT} = *head loss* total

f = koefisien gesek

L = panjang pipa (m)

D = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

K = koefisien kerugian

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Nilai K untuk jenis belokan lain:

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \quad (3.11)$$

dengan:

- K = koefisien kerugian
- D = diameter dalam pipa (m)
- R = jari-jari lengkung sumbu belokan (m)
- θ = sudut belokan (derajat)

c. Drop Pressure

$$\Delta P = \frac{\rho g \Delta H}{10^5} \quad (3.12)$$

dengan

- ΔP = drop pressure (bar)
- ΔH = total ketinggian (m)
- g = percepatan gravitasi (m/s^2)
- ρ = massa jenis zat cair (kg/m^3)

2) Jenis Pompa [10]: Pompa dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu

1. Pompa Perpindahan Positif
 - a. Pompa *reciprocating*
 - b. Pompa *rotary*

2. Pompa Dinamik

- a. Pompa sentrifugal

C. Sistem Pengangkatan Air Tenaga Surya

Dalam pemenuhan tegangan, dilakukan perhitungan jumlah panel surya yang dihubungkan seri [2].

$$N_{seri} = \frac{V_{sistem}}{V_{pv}} \quad (3.13)$$

dengan

- N_{seri} = Jumlah panel yang disusun seri
- V_{sistem} = Tegangan minimal sistem (V)
- V_{pv} = Tegangan panel surya (V)

Untuk memenuhi kebutuhan arus maka dilakukan perhitungan jumlah cabang panel sel.

$$N_c = \frac{P/V_{pv} \text{ seri}}{I_{pv}} \quad (3.14)$$

dengan

- N_c = Jumlah cabang
- P = Kebutuhan daya sistem (W)
- V_{pv} seri = Jumlah tegangan PV yang disusun (V)
- I_{pv} = Arus panel surya (A)

D. Analisis Ekonomi dengan Metode Net Present Value (NPV) [2]

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (3.15)$$

dengan

- NPV = Net Present Value
- C_t = Arus kas bersih pada waktu t
- i = Suku bunga
- t = Waktu arus kas
- n = Perkiraan umur sistem

IV. PELAKSANAAN PENELITIAN

A. Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Data kependudukan objek penelitian.
- 2) Data kebutuhan air objek penelitian.
- 3) Data-data teknis sistem, baik data primer maupun data sekunder.
- 4) Data-data ekonomi terkait sistem pengangkatan air yang diteliti.
- 5) Data-data sosial terkait sistem pengangkatan air yang diteliti.

Alat yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah:

- a. Alat tulis
- b. Kamera
- c. GPS (*Global Positioning System*)
- d. Kompas Bidik
- e. Selang
- f. Tali
- g. Meteran
- h. *Water Meter*
- i. Laptop dan Printer

B. Tata Laksana Penelitian

- 1) Dilakukan identifikasi masalah pada sistem suplai air bersih tenaga listrik Desa Mangunan
- 2) Dilakukan studi pustaka penelitian-penelitian yang terkait.
- 3) Dilakukan survei awal untuk melihat kondisi nyata di lapangan.
- 4) Pengambilan data teknis.
- 5) Pengambilan data sosial dengan cara wawancara (pemberian kuisioner) dan data ekonomi dengan pendataan biaya pembangunan awal serta operasional sistem pengangkatan air.
- 6) Dilakukan pengecekan ulang data-data yang telah didapat.
- 7) Dilakukan perhitungan data teknis yang diperoleh kemudian dianalisis.
- 8) Dilakukan analisis data ekonomi dan sosial.
- 9) Dilakukan studi evaluasi dan pemberian rekomendasi terbaik terkait kondisi sistem saat ini.
- 10) Dilakukan pengkajian hasil evaluasi sistem serta penelitian-penelitian sebelumnya mengenai sistem suplai air bersih tenaga surya.
- 11) Dilakukan perancangan sistem suplai air bersih tenaga surya untuk lokasi yang sama dengan objek penelitian.
- 12) Dilakukan studi komparatif sistem suplai air bersih tenaga listrik dengan sistem suplai air bersih tenaga surya dari aspek teknis, ekonomi dan sosial.
- 13) Pembuatan laporan hasil penelitian.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Wilayah dan Analisis Kebutuhan Air RT 28 Dusun Lemahbang

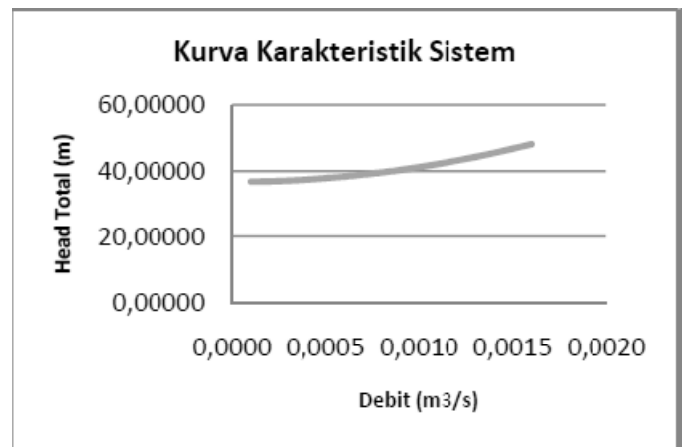
- 1) *Gambaran Umum Wilayah:* Dusun Lemahbang merupakan dusun yang terletak di Desa Mangunan, Kecamatan Dlingo, Kabupaten Bantul. Di daerah ini air menjadi sesuatu yang cukup sulit didapat. Hal ini dikarenakan sebagian besar daerahnya berupa pegunungan karst dan tanah lempung. Secara administratif, Dusun Lemahbang berbatasan dengan Dusun Kanigoro, Kediwung dan Sukorame. Wilayahnya 100% merupakan daerah berombak sampai berbukit. Dusun Lemahbang terdiri dari 4 RT yaitu RT 25, RT 26, RT 27 dan RT 28. Salah satu dari keempat wilayah RT tersebut merupakan wilayah RT yang paling sulit mendapatkan air karena posisinya yang lebih tinggi dibandingkan wilayah RT lain. Wilayah tersebut adalah wilayah RT 28.
- 2) *Analisis Kebutuhan Air:* Berdasarkan perhitungan dari data yang diperoleh, diketahui bahwa masyarakat air Jemberomo mengkonsumsi rata-rata 5350,9 liter air perhari dan 52,46 liter air per orang per hari. Untuk menghitung peningkatan jumlah penduduk digunakan persamaan (3.1). Kemudian untuk menentukan kebutuhan total air, digunakan persamaan (3.3) dan (3.4). Jumlah penduduk Desa Mangunan pada tahun 2007 adalah sebanyak 4468 orang dan pada tahun 2010 adalah sebanyak 4471 orang. Berdasarkan perhitungan dengan persamaan (3.1) diperoleh persentase pertambahan penduduk per tahun mendekati 0%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pada tahun-tahun ke depan tidak akan terjadi peningkatan jumlah penduduk di Desa Mangunan pada umumnya, maupun RT 28 Dusun Lemahbang, Desa Mangunan pada khususnya. Kemudian untuk perhitungan kebutuhan air (l/hari) dengan faktor maksimum didapatkan hasil nilai Qmd sebesar 6153,5 l/hari. Sedangkan untuk perhitungan kebutuhan air total dengan faktor kehilangan 20%, dihasilkan nilai Qt sebesar 7691,9 l/hari. Sedangkan dengan asumsi tiap orang dijatah 30 l/hari, diketahui nilai Q sebesar 3060 l/hari. Kemudian setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai Qmd sebesar 3519 l/hari dan nilai Qt sebesar 4398,7 l/hari. Oleh karena itu, agar kebutuhan masyarakat akan air terpenuhi, sumber air Goa Jemberomo harus mampu menyediakan minimal 7691,9 atau 4398,7 liter air per hari untuk masyarakat.
- 3) *Analisis Potensi Sumber Air:* Analisis debit sumber dilakukan berdasarkan data hasil *pumping test* pada saat pelaksanaan KKN-PPM 2011. Hasil analisis menunjukkan bahwa debit sumber adalah 1,0096 l/s atau 87230,7 l/hari. Nilai debit sumber per hari tersebut lebih besar dari total kebutuhan air masyarakat per hari, sehingga dapat disimpulkan bahwa sumber Jemberomo mampu memenuhi kebutuhan air masyarakat RT 28 Dusun Lemahbang. Untuk uji kualitas air, berdasarkan hasil uji di Laboratorium Balai Teknik Kesehatan

Lingkungan (BTKL) Yogyakarta dan Lab MIPA Kimia UGM, dinyatakan bahwa air Goa Jemberomo layak sebagai air baku dengan menetralkan beberapa kandungannya dengan kaporit.

B. Analisis Sistem

1) Sistem Perpipaan

- a) Perhitungan *Head Loss* ; *Head loss* total dapat dihitung dengan persamaan (3.10). Dengan nilai f adalah besarnya gesekan di mana pada dasarnya semakin besar debit air, semakin besar pula nilai gesekan antara air dengan dinding pipa, sehingga hambatan dalam pipanya juga semakin besar. Nilai f tersebut dapat diperoleh dengan persamaan (3.6). Sedangkan nilai Re adalah bilangan Reynolds yang berfungsi untuk mengetahui jenis aliran air dalam pipa tersebut. Re dapat diperoleh dengan persamaan (3.7). Berdasarkan data yang diperoleh di lapangan, diketahui bahwa semakin besar debit air, semakin besar pula *head* totalnya.

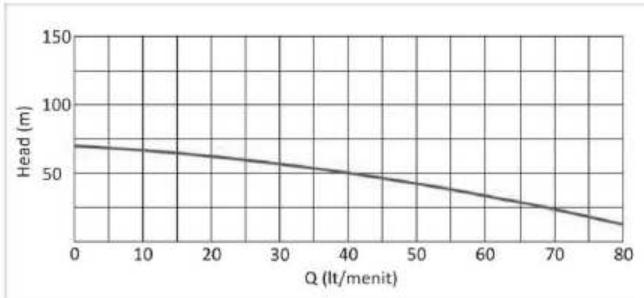


Gbr 1. Kurva karakteristik sistem

- b) Perhitungan *Drop Pressure*; Perhitungan *drop pressure* berfungsi untuk menentukan berapa besar tekanan minimum yang dapat diterima oleh pipa. *Drop pressure* dapat diperoleh dari perhitungan dengan persamaan (3.12). Sistem yang diteliti menggunakan pipa HDPE SDR 11 (PN 16). Pada perhitungan *drop pressure* ini, setelah diketahui nilai $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ dan $H = 36,84 \text{ m}$, nilai P dapat diperoleh yaitu sebesar 3,61 bar. Nilai tersebut kemudian ditambahkan dengan tekanan udara yaitu 1 atm atau 1 bar, sehingga total tekanannya adalah 4,61 bar. Nilai tekanan maksimum pipa setidaknya 4 bar di atas tekanan fluida yang mengalir di dalamnya. PN menunjukkan nilai tekanan maksimum pipa dalam satuan bar. Dari angka tersebut diketahui, sistem seharusnya dapat menggunakan pipa yang memiliki nilai PN lebih rendah, yaitu PN 8 atau PN 10. Selain lebih murah, pipa tetap mampu berfungsi maksimal.

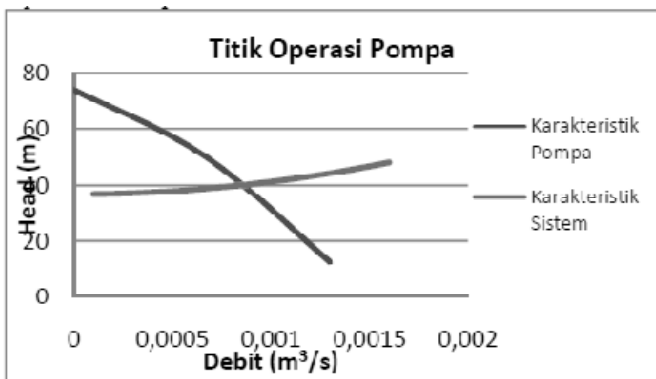
- 2) *Pemilihan Pompa*; Sistem pengangkatan air tenaga listrik Lemahbang ini menggunakan pompa *submersible* Shimizu SP-413 BIT dengan spesifikasi: [11]

Tegangan: 230 V, 50 Hz, 1 ϕ
 Daya Motor: 0,75 kW
 Head total: max 74 m
 Kapasitas: max 100 l/min



Gbr 2. kurva karakteristik pompa *submersible* Shimizu SP-413 BIT

Dari kurva karakteristik sistem dan kurva karakteristik pompa dapat diketahui titik operasi pompa seperti terlihat pada Gbr 3.



Gbr 3. Gambar kurva titik operasi pompa

Pada kurva di atas diketahui titik operasi pompa berada pada debit 0,0009 m³/s dan head total 40,4 m.

C. *Komparasi Aspek Teknis Sistem Pengangkatan Air Tenaga Listrik dengan Tenaga Surya di Kecamatan Dlingo*

- 1) *Analisis Teknis Sistem Pengangkatan Air Tenaga Surya di Dlingo*: Analisis ini dilakukan dengan perumpamaan sistem pengangkatan air tenaga surya akan dibangun pada lokasi yang sama dengan objek penelitian. Dari perumpamaan tersebut dapat dilakukan komparasi sistem bertenaga listrik dengan sistem bertenaga surya. Berdasarkan data-data teknis yang telah diambil, dapat dilakukan perhitungan teknis serta pemilihan komponen terkait sistem pengangkatan air tenaga surya di Dlingo. Pemilihan komponen pertama adalah pompa. Pemilihan pompa dilakukan berdasarkan debit dan head total sistem. Pada sistem pengangkatan air tenaga surya di Dlingo ini dipilih pompa *submersible* Lorentz PS 1800

CSJ5-12 karena memiliki spesifikasi yang sesuai dengan sistem. Kemudian berdasarkan kurva karakteristik pompa, diketahui besar daya yang dibutuhkan untuk memompa air dengan debit 3,8 m³/h dan head total 40 m adalah sebesar 800 Wp dengan tegangan lebih dari 102 Vdc. Daya 800 Wp tersebut dihasilkan oleh panel surya. Pada sistem ini dipilih panel surya dengan merk “Wika WJ100M” dan spesifikasi:

Daya puncak: 100 Wp
 Tegangan nominal: 12 Vdc
 Tegangan MPP: 16,9 Vdc
 Tegangan tanpa beban: 21,9 V
 Arus MPP: 5,9 A
 Arus hubung singkat: 6,7 A

Panel surya tersebut dipasang dengan kemiringan sesuai koordinat lintang lokasi terkait. Hal ini dimaksudkan agar panel surya dapat mendapatkan cahaya matahari secara optimal. Pada sistem ini, lokasi terletak pada 07° LS sehingga panel surya dipasang dengan kemiringan 7° menghadap ke utara.

Pada sistem ini, pompa memiliki tegangan minimal 102 V dan panel surya memiliki tegangan maksimal 16,9 V dengan arus maksimal 5,9 A. Untuk memenuhi tegangan pompa tersebut, sejumlah panel surya harus dihubungkan seri. Perhitungan jumlah panel surya yang dibutuhkan adalah dengan persamaan (3.13). Berdasarkan perhitungan diperoleh N seri sebesar 6,0355 atau 7 panel surya. Dengan 7 panel surya, tegangan yang dihasilkan adalah sebesar 118,3 V. Daya yang dibutuhkan pompa adalah sebesar 800 Wp, sementara tegangan total dari 7 panel surya yang dihubungkan seri sebesar 118,3 V dan arus 5,9 A, sehingga dengan persamaan (3.14), diketahui hanya 1 cabang saja yang dibutuhkan. Untuk memenuhi kebutuhan daya sebesar 800 Wp, maka panel surya yang dihubungkan seri adalah sebanyak 8 panel. Setelah dilakukan perhitungan ulang, maka diketahui V total yang dihasilkan panel surya adalah 135,2 V, arus 5,9 A dan jumlah cabang tetap 1.

- 2) *Komparasi Teknis Kedua Sistem*: Setelah dilakukan evaluasi sistem suplai air bersih tenaga listrik serta perancangan sistem suplai air bersih tenaga surya pada lokasi dan kondisi yang sama, maka dapat diuraikan perbedaan kedua sistem. Pada dasarnya kedua sistem memiliki cara kerja dan komponen penyusun yang sama. Salah satu perbedaannya terletak pada sistem ketenagaannya. Sedangkan jika diumpamakan sistem suplai air bersih tenaga listrik tersebut diganti sistem ketenagaannya dengan sistem suplai air bersih tenaga surya, semua komponen, yaitu HU dan pipa, baik pipa pengangkatan maupun pipa distribusi, tidak berubah. Perubahan hanya terjadi pada pompa tenaga listrik yang diganti dengan pompa tenaga surya dan panel listrik yang diganti dengan panel surya. Untuk sistem dengan tenaga listrik, sistem mendapatkan suplai tenaga dari listrik PLN

yang tentu saja membutuhkan biaya operasional setiap bulannya. Akan tetapi sistem dengan tenaga listrik menghasilkan debit yang stabil karena tidak terpengaruh cuaca. Sistem dengan tenaga listrik ini hanya dapat diterapkan pada daerah yang terjangkau listrik, sementara di daerah yang tidak terjangkau, sistem ini sulit diterapkan. Selain itu sistem juga hanya dapat diterapkan pada daerah yang tegangan listriknya memungkinkan untuk pompa yang digunakan. Sedangkan untuk perawatan, sistem suplai air bersih tenaga listrik tidak memerlukan perawatan. Untuk mencegah kerusakan, dilakukan pengecekan tekanan pompa dan arus listrik secara berkala [1]. Rata-rata umur sistem suplai air bersih tenaga listrik berdasarkan umur pompanya adalah kisaran 10-12 tahun. Sementara untuk sistem suplai air bersih tenaga surya, dalam pengoperasiannya tidak membutuhkan biaya karena tenaga berasal dari cahaya matahari yang tersedia tanpa batas dan tanpa biaya. Namun berdasarkan kajian skripsi evaluasi sistem suplai air bersih tenaga surya di Kecamatan Panggang, sistem bertenaga surya merupakan sistem yang sangat tergantung dengan kondisi cuaca sehingga menjadikan debit yang dihasilkan tidak stabil. Sistem bertenaga surya dapat diterapkan dan berdiri sendiri di daerah yang tidak terjangkau listrik. Sedangkan untuk perawatan, sistem ini terbilang mudah karena hanya perlu membersihkan panel surya dari kotoran-kotoran secara berkala agar tidak mengurangi intensitas cahaya matahari ke panel surya. Rata-rata umur sistem suplai air bersih tenaga surya berdasarkan umur pompanya, lebih lama dari sistem suplai air bersih tenaga listrik, yaitu kisaran 15-20 tahun. Dari perbedaan-perbedaan tersebut diketahui bahwa masing-masing sistem memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Pembangunan sistem suplai air bersih dengan pertimbangan sistem ketenagaannya hendaknya disesuaikan dengan kondisi lokasi serta tujuan pembangunan tersebut.

D. Evaluasi Ekonomi

Hasil perhitungan harga air berdasarkan rata-rata biaya listrik per bulan yaitu Rp 49.900,00 dan gaji 2 pengurus organisasi yang masing-masing Rp 60.000,00 per bulan menunjukkan harga air ideal berdasarkan keadaan riil di lokasi adalah Rp 1.085,644 /m³ sementara harga air pada kenyataannya lebih tinggi yaitu Rp 2.000,00 /m³.

E. Komparasi Aspek Ekonomi Sistem Pengangkatan Air Tenaga Listrik dengan Tenaga Surya di Kecamatan Dlingo

- 1) *Perhitungan Kelayakan Investasi Pembangunan Sistem:* Asumsi yang digunakan pada sistem ketenagaan dengan tenaga listrik:

Investasi awal= Rp 34.456.500,00
 Suku bunga pinjaman= 10,5%
 Umur proyek= 10 tahun
 Arus kas= Rp 2.325.119,155 per tahun

Asumsi yang digunakan pada sistem ketenagaan dengan tenaga surya:

Investasi awal= Rp 82.422.529,00
 Suku bunga pinjaman= 10,5%
 Umur proyek= 10 tahun
 Arus kas= Rp 2.936320,09 per tahun

Berdasarkan perhitungan, kedua sistem memiliki NPV > 0 sehingga kedua sistem pengangkatan air ini dinyatakan layak untuk dibangun.

- 2) *Perhitungan Harga Air:* Perhitungan harga air ini menggunakan 2 asumsi, yaitu sistem dibangun dengan 100% biaya yang digunakan adalah pinjaman tanpa bunga serta sistem dibangun dengan bantuan dan swadaya masyarakat sesuai kasus riil di Dlingo.

Tabel I. Perbandingan harga air

Asumsi	Sistem Ketenagaan	Harga Air per m ³
Seluruh biaya awal pembangunan adalah pinjaman	Listrik	Rp 3.327,877
	Surya	Rp 3.710,437
Biaya awal pembangunan adalah bantuan	Listrik	Rp 1.085,644
	Surya	Rp 770,462

F. Evaluasi Sosial

Data sosial diperoleh dengan cara wawancara (kuisisioner) dengan 15 responden konsumen air dari 15 KK yang berbeda. Dari data yang diperoleh, secara umum konsumen air RT 28 Dusun Lemahbang menyatakan puas dengan kondisi sistem yang ada, kecuali mengenai kepuasan terhadap kualitas air. Ada sebanyak 93% responden yang menyatakan kurang puas dengan kualitas air karena mengandung kapur. Para responden berharap bantuan dari pemerintah berupa sistem penyaringan air agar air yang diangkat layak konsumsi.

G. Komparasi Aspek Sosial Sistem Pengangkatan Air Tenaga Listrik Kecamatan Dlingo dengan Sistem

Pengangkatan Air Tenaga Surya Kecamatan Panggang
 Secara umum, mayoritas responden dari kedua sistem menyatakan puas dengan kondisi sistem yang ada, akan tetapi di Kecamatan Panggang, masyarakat banyak yang mengeluhkan kurangnya debit air yang dihasilkan sistem sehingga belum dapat mencukupi kebutuhan mereka. Para responden berharap agar sistem yang ada digabung dengan sistem bertenaga listrik.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Aspek Teknis :

- 1) Semua faktor teknis pada sistem suplai air bersih tenaga listrik Desa Mangunan telah layak dan sesuai dengan kondisi lokasi, akan tetapi berdasarkan hasil perhitungan, PN pipa HDPE yang digunakan seharusnya cukup dengan PN 10 saja, selain lebih murah, kinerja sistem juga tetap maksimal.
- 2) Pompa tenaga surya yang cocok untuk sistem suplai air bersih tenaga surya di lokasi yang sama dengan lokasi yang dievaluasi adalah pompa *submersible* Lorentz PS 1800 C-SJ5-12. Sementara panel surya yang digunakan adalah Wika WJ100M dengan daya puncak 100 Wp. Daya yang dibutuhkan pompa adalah 800 Wp dengan tegangan minimal 102 V untuk mengangkat air dengan debit 3,8 m³/h pada *head* 40 m. Untuk memenuhi spesifikasi tersebut dibutuhkan 8 panel surya.
- 3) Secara teknis, baik sistem pengangkatan air tenaga listrik maupun tenaga surya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pemilihan pembangunan sistem disesuaikan dengan lokasi dan tujuan pembangunan. Sistem suplai air bersih tenaga surya dapat dibangun pada lokasi terpencil yang tidak terjangkau listrik dan tidak membutuhkan biaya pada pengoperasiannya, namun menghasilkan debit air yang tidak stabil dan membutuhkan biaya pembangunan yang besar, sementara sistem bertenaga listrik adalah sebaliknya.
- 4) Sistem suplai air bersih yang lebih cocok dibangun di Desa Mangunan adalah dengan tenaga listrik.

Aspek Ekonomi :

- 1) Harga air per m³ sistem pengangkatan air tenaga listrik di RT 28 Dusun Lemahbang lebih tinggi dari perhitungan berdasarkan keseluruhan biaya operasional per bulan.
- 2) Hasil analisis ekonomi dengan metode *Net Present Value* menunjukkan bahwa kedua sistem layak dibangun.
- 3) Dibandingkan dengan sistem pengangkatan air tenaga listrik, dengan asumsi seluruh biaya pembangunan merupakan pinjaman (bukan bantuan), harga air per m³ sistem pengangkatan air tenaga surya lebih mahal, akan tetapi dengan asumsi biaya awal pembangunan adalah bantuan, harga air per m³ sistem pengangkatan air tenaga surya lebih murah.

Aspek Sosial :

- 1) Secara umum, masyarakat RT 28 Dusun Lemahbang, Desa Mangunan, Kecamatan Dlingo sudah puas dengan sistem pengangkatan air tenaga listrik yang ada, kecuali mengenai kualitas air yang masih tidak layak konsumsi karena mengandung banyak kapur.
- 2) Secara umum, masyarakat Desa Giriharjo, Kecamatan Panggang sudah puas dengan sistem pengangkatan air tenaga surya yang ada, kecuali mengenai kurangnya debit air yang dihasilkan sistem.

B. Saran

- 1) Saran bagi sistem suplai air bersih tenaga listrik yang telah ada di Desa Mangunan ini adalah perlu ditambah dengan sistem penyaringan air agar air yang diangkat dapat diminimalisir kandungan kapurnya.
- 2) Saran untuk penelitian ini adalah perlu diteliti mengenai pengaruh air kapur pada pipa dan pompa.
- 3) Untuk penelitian-penelitian selanjutnya, perlu dilakukan studi evaluasi komparatif sistem suplai air bersih bertenaga lain, seperti listrik dengan diesel, surya dengan diesel, listrik dengan hibrid, surya dengan hibrid ataupun diesel dengan hibrid.

REFERENSI

- [1] Tim KKN-PPM 2011 Unit Mangunan. *Perencanaan dan Instalasi Pengangkatan dan Distribusi Air Bersih di Desa Mangunan, Kecamatan Dlingo, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Buku Panduan Pelaksanaan KKN-PPM 2011, Jurusan Teknik Fisika, UGM, Yogyakarta, 2011.
- [2] Roni Eka Arrohman. *Perancangan Sistem Pengangkatan Air Tenaga Surya di Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunungkidul*. Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2012.
- [3] *Perbaikan Solar Water Pumping System di Dusun Sejati Desa, Desa Sumberarum, Kecamatan Moyudan, Kabupaten Sleman, D. I. Yogyakarta*. Presentasi, Kamase, Fakultas Teknik UGM dan Departemen Pekerjaan Umum D. I. Yogyakarta.
- [4] Mulyana Karim. *Evaluasi Unjuk Kerja Sistem Pengangkatan Air dengan Menggunakan Energi Matahari di Desa Giriharjo, Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunung Kidul*. Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2010.
- [5] *Petunjuk Teknis Pelaksanaan Pengembangan SPAM Sederhana*. Dokumen Teknis, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Jakarta, 2007.
- [6] Mu'adz Mohamad. *Perancangan Sistem Perpipaan Jaringan Distribusi Air Bersih pada Solar Pumping System*. Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2009.
- [7] Wendy Priana Negara. *Perbandingan Analisis Pressure Drop pada Pipa Lengkung 90o Standar ANSI B36.10 dengan COSMOSfloWorks 2007*. Paper, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Industri, Universitas Gunadarma.
- [8] *Aliran dalam Pipa*. Presentasi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- [9] Engineeringtoolbox. *Minor Loss Coefficients in Pipes and Tubes Components*. Diakses dari http://www.engineeringtoolbox.com/minor-losscoefficients-pipes-d_626.html, 15 September 2012.
- [10] *Peralatan Energi Listrik: Pompa dan Sistem Pemompaan*. UNEP, 2006.
- [11] *Pompa Submersible, Petunjuk Pemasangan Pompa Air Listrik*. Dokumen teknis, Shimizu SP-413 BIT.